



## О ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ БАЗЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ю. П. БАРВИНКО, В. М. ГОЛИНЬКО

*Рассмотрены предложения ряда авторов о необходимости совершенствования базы диагностики резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Показано, что существующая база диагностики обеспечивает требуемую работоспособность стальных конструкций резервуаров. При этом главной фигурой, от которой зависит качество диагностики и работоспособность конструкции является инспектор высокой квалификации. Применение различных программных средств (ПС), получающих информацию о техническом состоянии конструкции от установленных на ней датчиков, на данном уровне развития ПС может рассматриваться как дополнительная информация к выполняемой диагностике. Обращено внимание на необходимость повышения квалификации инспекторов, создание инженерных школ диагностики сварных металлических конструкций.*

*Considered are proposals made by a number of authors on the necessity to improve facilities for diagnostics of oil and oil product storage tanks. It is shown that the existing diagnostic facilities provide the required performance of steel tank structures. In this case the main figure whom the quality of diagnostics and performance of a structure depend upon is an inspector having high skills in the field. The use of different types of software to generate data on the technical state of a structure at a given level of development of the software can be regarded as an additional information source with respect to the diagnostics conducted. Consideration is given to the need to improve the skills of the inspectors and found the engineering schools for diagnostics of welded metal structures.*

В последние годы группой авторов [1–4] интенсивно разрабатывается идея дополнения и замены традиционной технической экспертизы аппаратно-программным комплексом (АПК). При этом необходимость такой замены обосновывается наличием противоречий между возможностью применения различных средств «методов контроля технического состояния конструкций и невозможностью объективной обоснованной оценки области допустимых значений результатов этого контроля» [1], которая сейчас основана на знаниях и доверии к эксперту, т. е. к личности, и носит субъективный характер. Для объективной оценки состояния конструкций предлагается дополнить существующую нормативно-техническую базу программными средствами в виде АПК, а на резервуарах установить датчики непрерывного и периодического действия. Такой АПК будет выполнять обработку сигналов датчиков и с использованием различных фундаментальных критериев выдавать объективный анализ состояния конструкций резервуаров. Вершиной комплекса является построение полномасштабной эволюционной модели конструкции, которая и будет наиболее полно описывать поведение конструкции в условиях эксплуатации. По утверждению авторов [1], такой АПК позволит глобально и объективно оценивать техническое состояние конструкций в текущий момент времени и предвидеть его развитие в будущем. При этом упускается, что разработку датчиков и АПК будут выполнять люди с определенным уровнем знаний. И достоверность конечного результата прямо будет зависеть от их работы, т. е. при проведении работы экспертом и при его замене АПК объективность будет определяться субъектом. Если эксперт опирается на данные физического контроля, хорошо апробированные многолетним опытом их применения, на результаты теоретических и экспериментальных

исследований, то во втором случае многое предстоит еще разработать, опробовать и доказать.

Выполним краткий анализ состояния ныне принятой экспертизы резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Рассматриваемые емкости являются объектами повышенной опасности. Резервуары вместимостью 10 тыс. м<sup>3</sup> и более в соответствии с [5] являются объектами I класса ответственности. Поэтому их эксплуатация и технический надзор выполняются по специальным нормативным документам. На нефтеперерабатывающих заводах таким документом является специальная инструкция [6], а для резервуарных парков магистральных нефтепроводов — руководящий документ [7]. Действующие нормативные документы строго регламентируют все работы, связанные с обследованием, оценкой технического состояния, ремонтом и реконструкцией резервуаров. Здесь можно с сожалением констатировать, что разработка аналогичных нормативов в Украине ведется очень медленно.

С учетом результатов обследования технического состояния составляется заключение, содержащее выводы и рекомендации о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации резервуара, оценку его ремонтпригодности и приводятся основные технические решения по восстановлению работоспособности резервуара. На основании заключения разрабатывается проект для выполнения ремонта.

Как видим, в действующих нормативных документах выстроена строгая последовательность действий, без каких-либо противоречий. Особое внимание обращено на оценку качества сварных соединений стенки. Это связано с тем, что стенка резервуаров большой вместимости под действием давления хранимого продукта обладает громадной потенциальной энергией, состоящей из упругой энергии растяжения стенки и энергии давления хранимого продукта. При наличии в сварных соединениях такой стенки трещин или трещиноподобных дефектов, размеры которых со временем дос-



тигают критических значений, происходит мгновенная реализация этой энергии с образованием протяженных поверхностей разрушения [8]. Учитывая неуправляемость процесса такого разрушения, главное внимание необходимо уделять недопустимости его развития. Это может быть достигнуто путем полного исключения дефектов в сварных соединениях или обеспечения их работоспособности при наличии дефектов. Полностью исключить дефекты в реальной конструкции — задача часто недостижимая. Поэтому, как правило, устанавливаются размеры допустимых дефектов.

Оценка работоспособности стальной конструкции стенки резервуара при наличии дефектов в сварных соединениях является сложной и многоплановой задачей. Инспектору на основании визуального осмотра сварного соединения, анализа результатов контроля его качества физическими методами, замеров угловых деформаций, данных о частоте и амплитуде малоциклового нагружения стенки, механических свойств материала стенки и сварного шва и других данных необходимо принять ответственное решение о работоспособности сварного соединения и конструкции в целом.

Попытка в работах [1–4] переложить оценку работоспособности сварной конструкции при нынешнем уровне теоретических и экспериментальных познаний на сигналы установленных датчиков и разрабатываемый авторами АПК не имеет на сегодня под собой необходимой научной базы. Принятые в АПК «фундаментальные критерии» оценки работоспособности сварной конструкции стенки и, в частности, сварных соединений, требуют более детальной расшифровки. Таких критериев нет в научной и действующей нормативной литературе. Достаточно обратиться к заслуживающему доверия энциклопедическому изданию по сварным конструкциям [9] под общей редакцией академика Б. Е. Патона. Анализ приведенного в этом издании материала убедительно показывает, что в ближайшем будущем критерием работоспособности резервуаров будет способность инспектора аккумулировать в себе и применять на практике имеющиеся на сегодня научные познания в данной области. При этом эти познания носят довольно обобщенный характер и в каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход. При разработке новой базы технической диагностики в работах [1–4] не придаются должного внимания оценке прочности сварных соединений при переменных нагрузках и основным факторам, оказывающим влияние на предел их выносливости, процессам разрушения стыковых сварных соединений с позиций механики разрушения и методам расчета прочности и долговечности. Результаты работ можно, в определенной степени, отнести к оценке прочности резервуаров при статическом нагружении.

Утверждение, что предлагаемая эволюционная математическая модель способна описывать процесс протекания всех взаимосвязанных физических явлений в объекте контроля и предвидеть их развитие в будущем не подтверждается приведенными примерами использования предлагаемого АПК.

Так, представленную в работе [1] на рис. 3 геометрическую форму стенки РВС-10000 можно получить и путем отложения на концентрических окружностях кольцевых швов фактических отклонений стенки от вертикали [10]. Задача довольно простая и относится к статическому нагружению. Полученная таким образом форма стенки не может учитываться при определении эквивалентных кольцевых напряжений. Ограничения отклонений стенки при пустом резервуаре в большей степени связаны с обеспечением нормальной работы затвора и недопущения «прохлопывания» стенки при сливе — наливе хранимого продукта.

Отметим и ошибочность выводов авторов [1] о наличии сверхнормативных запасов по прочности стенки резервуаров РВС-75000 для ЛПДС «Мозырь», Республика Беларусь (проект ОАО «Мостосталь», Гданьск, Польша) и ЛПДС «Броды» (проект ОАО «УкрНИИПСК», г. Киев). Известно, что нормы [5, 11 и 12] распространяются на проектирование резервуаров вместимостью только до 50 тыс. м<sup>3</sup> включительно. Поэтому указанные резервуары проектировались с учетом, по возможности, действующих норм. Методика расчета авторов [1] не является новой. Это один из вариантов определения кольцевых напряжений в стенке резервуара, подробно рассмотренный в [13], и результаты проведенных исследований используются в [5, п. 3.38] при расчете толщины поясов стенки. Как и в предыдущем примере, решение представлено в условиях статического нагружения.

Учитывая уникальность объектов, отсутствие необходимой статистики по механическим свойствам применяемых сталей и их сварным соединениям, а также большую ответственность за все принятые решения проектные организации решили увеличить расчетную толщину стенки нижних поясов на 5 мм. Это обычное решение и только с накоплением опыта проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений можно будет давать соответствующую оценку качества проекта. Никакие датчики на сегодня не могут заменить этот опыт.

Как видно, в представленных примерах работоспособность сварной конструкции определяется ее общей статической прочностью. Между тем, на сегодня вопросы статической прочности резервуаров достаточно изучены и многократно проверены на реальных объектах. В работах [1–4] авторы АПК видят стенку резервуаров как конструкцию, выточенную из цельной заготовки, не имеющей сварных соединений. В действительности это стенка оболочки, сваренная из более, чем ста отдельных листов.

Надежность рассматриваемых листовых сварных конструкций, особенно находящихся длительное время в эксплуатации, как правило, определяется местной прочностью. Такими локальными зонами часто бывают участки сварных соединений с дефектами. Трехосное напряженное состояние в дефектах не позволяет реализовываться высоким пластическим свойствам применяемых сталей и создает благоприятные условия для зарождения и развития хрупкого разрушения. Сочетание малоцик-



лового нагружения стенки резервуаров с наличием в вертикальных сварных соединениях смещения кромок, подрезов, непроваров, закалочных структур и других дефектов приводит к довольно интенсивному зарождению и развитию хрупких трещин. И именно их дальнейшее развитие будет определять, в большинстве случаев, работоспособность всей сварной конструкции резервуаров. Если приведенная полномасштабная эволюционная модель с установленными датчиками в состоянии описать все процессы, происходящие в таких дефектах в момент обследования конструкции и при их развитии во времени, то по полученным конкретным результатам можно будет дать реальную оценку предлагаемого АПК. Определенным примером может быть работа [14], в которой как частный случай показано, что с учетом свойств основного материала и сварного шва теоретически можно оценить работоспособность во времени конкретного стыкового сварного соединения с неполным проваром в условиях циклическом нагружении. Исходные данные в работе [14] получены экспериментальным путем.

Поиск методов диагностики сварных конструкций на основе информации, полученной от установленных датчиков, является довольно актуальной задачей. Наиболее ощутимы здесь достижения метода акустической эмиссии (АЭ). Метод АЭ позволяет обнаруживать развивающиеся дефекты и определять их координаты, оценивать степень опасности дефектов, измерять уровень напряжений. Однако и метод АЭ не нашел еще широкого применения, в том числе и при диагностике резервуаров. Объясняется это наличием еще ряда нерешенных вопросов теории и практики, отсутствием систематизированной информации и рядом других причин. В частности, при диагностике резервуаров надо учитывать большие габариты конструкции, относительную удаленность нефтепарков от диспетчерских, открытость конструкции атмосферным воздействиям и т. д. [16].

Наш более чем тридцатилетний опыт работы в области надежности резервуарных конструкций показывает, что в последние годы в Украине наблюдается снижение технического уровня инспекторов — главных лиц, определяющих качество технической диагностики. Появление большого числа организаций с правом проведения экспертизы не способствовало повышению ее качества. В этом отношении поучителен опыт России, где идет процесс создания крупных технических школ диагностики на базе известных институтов АОЗТ ЦНИИПСК, АООТ ВНИИМонтажспецстрой, ЗАО «Трест Коксохиммонтаж», Уфимский нефтяной институт, Центр диагностики в Лиховицах и др. Это позволяет накапливать и анализировать сведения о техническом состоянии резервуаров, создавать инженерные школы со своими традициями и преемственностью и, в конечном итоге, растить кадры высококвалифицированных инспекторов.

Примером преимущества создания и работы инженерных школ на базе ведущих научных и проектных институтов является Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского.

Совместная работа специалистов высшей квалификации в области технологии сварки и прочности сварных конструкций позволяет выполнять всестороннюю экспертную оценку технического состояния резервуаров и, что самое главное, разрабатывать новые технологии восстановления их работоспособности. Практика показывает, что 2–3 такие школы могут полностью обеспечить резервуарные парки Украины в проведении на высоком уровне их технической диагностики и разработку проектной документации для выполнения ремонтных работ.

Приведенные в настоящей статье рассуждения не отрицают того факта, что применение математического моделирования — вопрос актуальный и позволяет, в определенной степени, повышать достоверность оценки технического состояния сварной конструкции резервуара. Постоянное накопление статистических и экспериментальных данных, развитие технической базы в сочетании с увеличением получаемой в процессе диагностики информации, расширяет и перечень задач, решаемых различными программными комплексами. Однако на сегодня программные комплексы в оценке работоспособности сварных конструкций являются не более, чем хорошим вспомогательным инструментом. Главной фигурой в оценке работоспособности сварной конструкции резервуаров остается высококвалифицированный эксперт.

1. *Радьш Ю. В., Киреев А. С.* Совершенствование базы диагностики технического состояния и прогнозирования надежности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. — Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 4. — С. 38–46.
2. *Радьш Ю. В., Радьш В. Ю., Киреев А. С. и др.* Аппаратно-программный комплекс нового поколения — альтернативы традициям технической экспертизы. — Друга україн. наук.-техн. конф. «Неруйн. контроль та техн. діагностика». — Дніпропетровськ. 1997. — 222 с.
3. *Барзилович Д. В., Радьш Ю. В., Киреев А. С.* Инженерний захист за допомогою апаратно-програмного комплексу діагностики та прогнозування технічного стану парку резервуарів для зберігання нафти. — Друга міжнар. наук.-практ. конф. «Інженерний захист територій об'єктів у зв'язку з розвитком небезпечних геологічних процесів». — Ялта, 2000. — 234 с.
4. *Барзилович Д. В., Радьш Ю. В., Киреев А. С.* Пути совершенствования нормативно-технической базы диагностики состояния и прогнозирования надежности резервуаров для хранения нефти. — Коллоквиум «Новые решения в проектировании и строительстве металлических резервуаров». — Одесса, 2000.
5. *ВБН В.2.2-58.2-94.* Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. — Київ, Держкомнафтогаз, 1994. — 98 с.
6. *ИТН-93.* Инструкция по техническому надзору, методам ревизий и отбраковки трубчатых печей, резервуаров, сосудов и аппаратов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — Волгоград. — 1995. — 187 с.
7. *РД 39-0147103-385-87.* Руководящий документ. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов. — ВНИИСПТнефть. — 1988. — 282 с.
8. *Розенштейн И. М.* Аварии и надежность стальных резервуаров. — М. Недра, 1995. — 235 с.
9. *Винокуров В. А., Куркин С. А., Николаев Г. А.* Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б. Е. Патона / М.: Машиностроение. — 1996. — 576 с.



10. *Веревкин С. И., Ржавский Е. Л.* Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. — М.: Недра. — 1980. — 284 с.
11. *СНП П-23-81.* Нормы проектирования. Стальные конструкции.
12. *POLSKANORMA. PN-B-03210. Pazdziemik 1997.* Konstrukcje stalowe. Zbiorniki walcowe pionowe na wykonanie.
13. *Сафарян М. К.* Металлические резервуары и газгольдеры. — М.: Недра. 1987. — 200 с.
14. *Андрейків О. Є., Лициська М. В.* Визначення залишкового ресурсу зварних конструкцій із щілинноподібними дефектами. — Автомат. сварка. — 2000. — № 2. — С. 10–13.
15. *Недосека А. Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев, Изд-во метод. литературы и наглядных пособий ТК-78. — 2001. — 815 с.

*Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,  
Киев*

*Поступила в редакцию  
20.03.2003*

## **Международная конференция «КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И РЕСУРС ОБОРУДОВАНИЯ АЭС»**

Киев, Украина, 20 – 22 мая 2003 г.

Конференция «РЕСУРС - 2003» состоится в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины при содействии и поддержке Национальной академии наук Украины, Минтопэнерго Украины, НАЭК «Энергоатом», Научного совета по проблеме «Механика деформируемого твердого тела», Научно-координационного и экспертного совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин, Ассоциации «Надежность машин и сооружений».

В настоящее время Оргкомитет получил более 100 заявок на участие ведущих организаций Украины (Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАНУ, Института ядерных исследований НАНУ, Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, Института технической механики НАН и НКА, Института черной металлургии им. З.И.Некрасова, Днепропетровского национального университета, Государственного научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности, Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины и др.), России (Института машиноведения РАН, Росэнергоатома, ЦНИИТМАШа, НИКИЭТа, ВНИИАЭСа, ФГУП ОКБ «Гидропресс», ЦНИИКМ «Прометей»), Азербайджана (Азербайджанского технического университета, Сумгаитского государственного университета), известных европейских организаций (Framatome ANP GmbH, Tractebel Energy Engineering, EC/JRC-IE, Tecnatom S.A, Nuclear Research Institute Rez near Prague), а также представителей атомных станций Украины.

### **ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ**

- критерии предельного состояния материалов при статическом, динамическом, мало- и многоцикловом нагружении;
- методы учета влияния технологических и эксплуатационных дефектов на предельное состояние материалов и элементов конструкций;
- оценка деградации структуры и свойств материалов в процессе эксплуатации;
- методы оценки конструкционной прочности;
- методы оценки ресурса, в том числе остаточного;
- экспертиза разрушения элементов конструкций;
- продление сроков эксплуатации оборудования атомной энергетики.

*По вопросам проведения конференции просьба обращаться:*

тел. 38 (044) 295-81-47, факс 38 (044) 296-16-84.  
E-mail: info@ipp.adam.kiev.ua, conf2003@ukr.net  
www.ipp.adam.kiev.ua

Украина, 01014, г. Киев, ул. Тимирязевская, 2.  
Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины  
Оргкомитет Международной конференции «Ресурс — 2003»